



Ogräskontroll– i odlingssystem utan glyfosat och med liten användning av herbicider och jordbearbetning

Weed management – in systems without glyphosate and little use of herbicides and tillage

Albin Hidén

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap, Institutionen för växtproduktionsekologi

Agronom mark/växt

Uppsala 2020



Ogräskontroll – i odlingssystem utan glyfosat och med liten användning av herbicider och jordbearbetning

Weed management- in systems without glyphosate and little use of herbicides and tillage

Albin Hidén

Handledare: Göran Bergkvist, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi
Bitr. handledare: Elsa Lagerqvist, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi
Examinator: Ingrid Öborn, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronom mark/växt
Kursansvarig inst.: Inst. för vatten och miljö

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2020

Nyckelord: allelopati, conservation agriculture, glyfosat, glyfosatförbud, herbicid, herbicidresistens, jordbearbetning, mellangrödor, ogräs, ogräskonkurrens, ogräskontroll, reducerad jordbearbetning, växtföljd

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för växtproduktionsekologi

Arkivering och publicering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Metadata och fulltext blir då synliga och sökbara på internet. I samband med att dokumentet laddas upp arkiveras det även digitalt.

☒ JA, jag ger härmed min tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.
<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>

☐ NEJ, jag ger inte min tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och abstract blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Ogräs har oftast större betydelse för en grödas avkastning än både skadeinsekter och växtsjukdomar. Ogräskontroll sker i huvudsak med användning av herbicider och jordbearbetning. En överanvändning av selektiva herbicider under lång tid har lett till att ogräspopulationer har utvecklat resistens mot dessa. Totalbekämpningsherbiciden glyfosat har en viktig roll som resistensbrytare för att säkerställa framtida effekt för andra herbicider, med sin unika verkningsmekanism påverkar den ogräs som utvecklat resistens mot andra preparat. Inom forskningen råder det dock oenighet om glyfosats hälso- och miljöeffekter, vilket lett till att det uppstått diskussion om ämnets framtid som herbicid inom EU. I dagsläget skulle ett förbud av glyfosat troligen leda till ökad användning av selektiva herbicider och jordbearbetning och därigenom en ökad miljöpåverkan. I Sverige används glyfosat idag framförallt i stubb för att hantera perenna ogräs och spillsäd, i system med reducerad bearbetning eller direktsådd, vid vallbrott samt för att hantera herbicidresistenta ogräs.

Syftet med arbetet var att identifiera och bedöma möjligheter för direkta och indirekta, icke-kemiska metoder som inte heller innebär ökad användning av tung jordbearbetning, för att hantera de situationer där en stor del av glyfosat-användningen idag sker. Genom en litteraturstudie identifierade jag följande metoder; mellangrödor, växtföljd, selektiv ogrässkärare, mekanisk frökross, värme och elavdödning. Mellangrödor har störst effekt på annuella ogräs, likaså växtföljd med variation mellan höst- och vårgrödor. Vall har god effekt på annuella ogräs och på många perenna ogräsarter. Selektiv ogrässkärning kan hindra fröspridning från annuella ogräs och på lång sikt, utarma vissa perenna ogräsarter. Mekanisk frökross, har god effekt på ogräsfrön och spillsäd som går igenom tröskan. Värmebehandlingar har god effekt på små ogräsplantor, framförallt örtogräs och kan ha god effekt på fröbanken. Och sist elavdödning som har systemisk verkan och kan döda dels större annuella men också perenna ogräs.

Min slutsats är att av de identifierade metoderna så är ingen lämplig att ersätta glyfosat vid vallbrott. För kontroll av perenna ogräs, bör en kombination av vall, selektiv ogrässkärning och elavdödning kunna ersätta glyfosat. Spillsäd och herbicidresistenta annuella ogräs bör kunna hållas under kontroll genom en kombination av mellangrödor, växtföljd, selektiv ogrässkärning och mekanisk frökross. Effekten av mellangrödor, mekanisk frökross, och elavdödning i svenska förhållanden med dess vegetationsperiod och ogräsflora, samt metoderna i kombination med varandra behöver studeras vidare.

Nyckelord: allelopati, conservation agriculture, glyfosat, glyfosatförbud, herbicid, herbicidresistens, jordbearbetning, mellangrödor, ogräs, ogräskonkurrens, ogräskontroll, reducerad jordbearbetning, växtföljd

Abstract

Weeds are often more critical for crop yield than insects and plant pathogens. Traditionally, weed control has been done with the use of herbicides and tillage. An overuse of selective herbicides over a long period has resulted in resistance to these, in several weeds. The total control herbicide glyphosate plays a vital role as a resistance breaker to ensure the future effect of selective herbicides, with its unique mode of action it affect weeds that are resistant to other herbicides. Within the research community, there is disagreement about the health and environmental effects of glyphosate, which has led to a discussion of the substance's future within the EU. At present, a ban on glyphosate would probably lead to an increased use of selective herbicides and to increased tillage and an increased impact on the environment. In Sweden, glyphosate is used primarily in stubble, to manage perennial weeds and shed grain, in systems with reduced-tillage or direct seeding, in termination of ley and to control herbicide-resistant weeds.

The purpose of this study was to identify and assess opportunities for direct and indirect non-chemical methods that do not involve increased use of heavy tillage, to deal with the situations where glyphosate is currently used. Through a literature study, I have identified the following methods: cover crops, crop rotation, selective cutting, mechanical weed seed destruction, thermal weeding and weed electrocution. Cover crops have the most significant effect on annual weeds, as has crop rotation with variation between winter and spring crops. Rotational grass-clover leys reduce the abundance of annual weed species and many perennials. Selective weed cutting can prevent seed dispersal from annual weeds and, in the long run, deplete certain perennial weeds. Mechanical seed destruction has a good effect on seeds from weeds and shed grain that passes through the combine. Heat treatments have a good impact on small weeds, mainly dicotyledons and can therefore have a good effect on the seed bank. Finally, electrocution kills the weeds by having a systemic impact on the plant and can kill both large annual but also perennial weeds.

My conclusion is that none of the identified methods is by itself suitable to replace glyphosate in termination of ley. For the control of perennial weeds, a combination of ley, selective weed cutting and electrocution could possibly be able to replace glyphosate. Shed grain and herbicide-resistant annual weeds could be kept under control through a combination of cover crops, crop rotation, selective cutting and mechanical seed destruction.

Keywords: allelopathy, conservation agriculture, cover crop, crop competition, crop rotation, glyphosate, glyphosate ban, herbicide, herbicide resistance, reduced tillage, tillage, weed management, weeds

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	10
1.1. Bakgrund	10
1.2. Syfte och mål	12
1.2.1. Syfte	12
1.2.2. Mål	12
2. Metod	13
2.1. Litteraturstudie	13
3. Resultat.....	14
3.1. Situationer där glyfosat idag är av stor betydelse	14
3.2. Lösningar på odlingssystemnivå	15
3.2.1. Mellangrödor	15
3.2.2. Växtföljd	17
3.3. Tekniska lösningar	17
3.3.1. Selektiv ogrässkärare	17
3.3.2. Mekanisk frökross	18
3.3.3. Värme	19
3.3.4. Elavdödning	20
4. Diskussion.....	21
4.1. Lösningar på identifierade situationer	21
4.1.1. Perenna ogräs	22
4.1.2. Fröogräs, resistens och spillsäd	23
5. Slutsats	25
Referenser.....	26
Tack	31

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Ogräs, skadedjur och växtsjukdomar har alla en negativ påverkan på huvudgrödans skörd, men ogräsen potentiella påverkan på skördenivån är generellt den av störst betydelse av de tre (Oerke 2006). Både ogräsbekämpning och ogräsforskning hade under 1950- och 60-talet fokus riktat mot de nyintroducerade moderna herbiciderna (Håkansson 2003). Enligt Håkansson (2003) var en diskussion om ogräsbekämpning under denna period i princip synonymt med en entusiastisk diskussion om herbicider. Användningen av herbicider ökade kraftigt fram till 1970-talet för att sedan stabiliseras och sjunka under 1980- och 90-talen (Fogelfors *et al.* 2015). Enligt Fogelfors *et al.* (2015) var en anledning till minskningen utvecklingen av lågdospreparaten, t.ex. sulfonyleureor, preparat som har ogräseffekt vid extremt låg dos aktiv substans (Brown 1990). Under 1980- och 90-talet ökade även intresset för integrerat växtskydd (Håkansson 2003). Även om den totala mängden aktiv substans minskade så ökade antalet doser per odlad hektar (Larsson *et al.* 2014). I början av 1980-talet såldes knappt två miljoner hektardoser/år med herbicider. Mellan 2010 och 2018 låg antalet över 2,5 miljoner hektardoser/år, mer de åren det odlades mycket höstvet (SCB 2019).

En övertro på och en överanvändning av herbicider, har gjort att herbicidresistenta ogräspopulationer utvecklats i många delar av världen (Powles & Gaines 2016), inklusive i Sverige där det finns exempel på flera ogräsarter som påvisat resistens (Heap 2020). Andra problem som en överanvändning kan medföra, är risk för herbicidrester i grundvatten. I en sammanställning av Larsson *et al.* (2014) över provtagningar av grundvatten i Sverige var 36 % av proven positiva för bekämpningsmedelsrester. Det vanligaste fyndet var BAM, som är en nedbrytningssubstans av diklobenil, ett medel som har varit förbjudet i Sverige sedan 1989 (Larsson *et al.* 2014). Förutom de eventuella skador dessa substanser kan medföra, bidrar publiceringen av sådana provtagningsresultat till att konsumenter kan få en negativ attityd till bekämpningsmedelsanvändning och till jordbruk överlag. Ett exempel på det är en studie av den Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA 2010). Studien visade att 59 % av svenskarna angav att de var oroliga för bekämpningsmedelsrester i vegetabilier.

När odlingen är beroende av ett litet antal herbicider som används intensivt är det riskabelt. Om en substans blir förbjuden kan det vara svårt att finna alternativ. Det kan bli svårt att hitta nya verkningsmekanismer och det finns risk för att ogräsen utvecklar resistens mot de kvarvarande aktiva substanserna. Sammantaget innebär detta att det är dyrt och riskabelt att utveckla nya aktiva substanser. Detta har lett till att färre substanser tagits fram och godkänts, samtidigt som fler ogräspopulationer blivit resistenta mot de tillgängliga substanserna (Kraehmer *et al.* 2007). En viktig substans i situationer med resistensproblematik och en övergång till system med allt mindre jordbearbetning är totalbekämpningsmedlet glyfosat, som varit godkänt sedan 1975. Ännu finns inte några kända fall av resistens mot glyfosat i Sverige. Inför en omröstning 2017, om förlängt godkännande av glyfosat inom EU, blåste en het debatt upp om ämnets hälsoeffekter där oenighet råder mellan olika instanser och medlemsländer, vilket har belysts av Johansson *et al.* (2019). Glyfosat är idag godkänt fram till december 2022 (Europeiska kommissionen 2017), men framtiden är oviss (Johansson *et al.* 2019).

Johansson *et al.* (2019), har gjort en konsekvensanalys som belyser möjliga följder av ett glyfosatförbud. Enligt rapporten är troliga följder av ett förbud ökad jordbearbetning, som enligt Håkansson (2003) kan medföra ökat näringsläckage och jorderosion samtidigt som jordstruktur försämras, fröbanker underhålls och ekosystemtjänster, t.ex. som fröpredation minskar. Johansson *et al.* (2019) menar att en trolig följd också är sämre lönsamhet i odlingen på grund av ökade omkostnader genom ökad jordbearbetning, en förändrad växtföljd etc. Ett glyfosatförbud kan också leda till ökad användning av andra, mer selektiva herbicider, som det i flera fall redan idag finns ogräspopulationer som är resistenta mot eller löper stor risk att utveckla resistens mot (Johansson *et al.* 2019).

De stora problemen kopplade till ett eventuellt förbud av glyfosat, gör det angeläget att identifiera kompletterande metoder för ett glyfosatfritt jordbruk. Metoder som inte ökar risken för herbicidresistenta ogräs, odlingens negativa miljöpåverkan och som gör att markens bördighet upprätthålls.

1.2. Syfte och mål

1.2.1. Syfte

Syftet med detta arbete är att genom en litteraturstudie, identifiera och bedöma förutsättningarna för ett urval av existerande icke-kemiska metoder för ogräskontroll att helt eller delvis ersätta glyfosat, metoder som inte innebär ökad jordbearbetning eller användning av andra herbicider, samt att bedöma dessa metoders möjlighet att ersätta glyfosat under förhållanden som i Sverige.

1.2.2. Mål

1. Identifiera och beskriva för vilka situationer i nuvarande odlingssystem ett glyfosatförbud skulle innebära att anpassningar krävs för att klara ogräskontrollen.
2. Identifiera och beskriva icke-kemiska metoder för ogräskontroll, som inte innebär tung jordbearbetning.
3. Beskriva hur de identifierade metoderna fungerar för att kontrollera olika typer av ogräs.
4. Bedöma och diskutera förutsättningarna för de identifierade metoderna att ersätta glyfosat i de situationer som identifieras under punkt 1.

2. Metod

2.1. Litteraturstudie

Denna uppsats är en litteraturstudie, där den använda litteraturen i huvudsak består av vetenskapliga granskade artiklar och litteraturöversikter samt rapporter från statliga myndigheter som jordbruksverket, Statistiska centralbyrån (SCB) etc. Utöver den litteraturen så har jag använt mig av viss undervisningslitteratur och någon enstaka populärvetenskaplig artikel. I mitt sökande har jag utgått från söktjänsten Google Scholar och de artiklar jag kunnat få tillgång till via SLU:s bibliotek. Sökandet har skett med hjälp av sökord, som utvecklats under arbetets gång, beroende på nya insikter och upptäckter.

Sökord: cover crops, weed suppression, allelopathy, selektiv ogrässkärare, CombCut, seed destruction, weed electrocution, växtföljd, crop rotation, herbicide resistance, thermal weeding, biological weed control, no till weed control, crop competition och synonymer till ovan nämnda ord.

3. Resultat

3.1. Situationer där glyfosat idag är av stor betydelse

Enligt SCB (2018) användes glyfosat på 17 % av den konventionellt odlade arealen i Sverige 2017, vilket innebär att drygt 250 000 ha bekämpades med 310 ton aktiv substans. Av den arealen var 166 000 ha behandling i stubb, 23 000 ha före sådd, 45 000 ha inför vallbrott och 14 000 ha på träda. Enligt Johansson *et al* (2019) ökar behovet att avdöda spillsäd och perenna ogräs, t.ex. kvickrot, kemiskt vid reducerad bearbetning och direktsådd. 2016 odlades ca 40 % av höstsäds-, havre- och vårkornsarealen enligt dessa system (SCB, 2017). Glyfosat är därför speciellt viktigt för att minska behovet av plöjning, för det första för att kunna hantera ökande resistensproblem kopplade till selektiva herbicider. För det andra kommer vallbrott enligt Johansson *et al* (2019) att försvåras av ett glyfosatförbud. Då upprepad jordbearbetningen, som befaras ersätta glyfosat, kräver lång tid och kan medföra att en vallskörd kan utebli. För det tredje kommer även odlingssystem med reducerad bearbetning försvåras på grund av perenna ogräs och spillsäd, och odlingen av fång- och mellangrödor kommer att påverkas (Johansson *et al.* 2019).

Enligt Johansson *et al.* (2019) är en tänkbar effekt av ett förbud mot glyfosat att lönsamheten minskar som följd av högre produktionskostnader och lägre skörd per hektar. Detta kan medföra ökad användning av andra herbicider och ökade koldioxidutsläpp, orsakat av ökat behov av jordbearbetning. Ökat kväveläckage som följd av mer barmark och jordbearbetning, samt mindre areal med fång- och mellangrödor är andra konsekvenser som lyfts fram.

3.2. Lösningar på odlingssystemnivå

3.2.1. Mellangrödor

Vad är en mellangröda?

En mellangröda är en gröda som har sin huvudsakliga tillväxt mellan två huvudgrödor och som antingen etableras genom insådd eller efter skörd av huvudgröda. Den får normalt växa så länge som det är möjligt innan nästa huvudgröda ska sås och avdödas kemiskt, mekaniskt eller av låga temperaturer under vintern (Hartwig & Ammon 2002). Etableras den efter skörd kan den kallas för eftergröda, etableras den som insådd kallas den för bottengröda eller relägröda, och etableras den med syftet att minska kväveutlakning kallas den för en fånggröda (Frithiofsson 2017).

Hur och varför används mellangrödor?

Intresset för mellangrödor har sitt ursprung i USA med bakgrund av de stora problemen med erosion där. Intresset har sedan spridits över hela världen, bl.a. Schweiz, där de var tidigt ute med odling av mellangrödor för att minska erosion i branta sluttningar vid stor nederbörd (Hartwig & Ammon 2002). För att ytterligare minska erosionen, kombineras ofta mellangrödorna med direktsådd. För att inte användandet av mellangrödor ska bli alltför kostsamt är det viktigt att bottengrödan inte konkurrerar mycket med huvudgrödan (Hartwig & Ammon 2002).

Konkurrens

Enligt Nationalencyklopedin är konkurrens en interaktion mellan två eller fler individer, där en individ nyttjar eller lägger beslag på en resurs som då blir otillgänglig för de andra. Växter konkurrerar om ljus, vatten och näringsämnen. Mellangrödors konkurrerande effekt är som störst på annuella ogräs, men de kan också ha viss effekt mot perenna ogräs (Teasdale *et al.* 2007).

Mellan 2005 och 2008 utfördes en studie i Maryland, USA, för att finna mekanismerna bakom ogräseffekten hos en mellangröda av foderrättika (Lawley *et al.* 2012). I början av hösten såddes fyra led med foderrättika som fick växa under hösten och som jämfördes med ett kontrollerat utan mellangröda. Innan rättikan frostskaades, blev all biomassa bortplockad i det första ledet, det andra ledet blev den ovanjordiska biomassan bortplockad, det tredje ledet fick stå orört och till det fjärde ledet tillfördes all biomassa från det första ledet, utöver den egna biomassan. Efterföljande vår var skillnaderna i ogräsförekomst liten mellan de fyra led som varit bevoxna under hösten. De fyra foderrättikabevuxna leden hade alla haft god

ogräseffekt jämfört med kontrollet som inte varit bevuxet under hösten. Utifrån detta resultat drogs slutsatsen att den största effekten på ogräs kom från konkurrens av den växande foderrättikan på hösten. Den ovanjordiska biomassan i leden låg mellan 40-70 g/m².

Mellangrödan kan även indirekt minska ogräsens tillväxt efter att den har dött, eftersom de döda växtresterna förhindrar ljus att tränga ner till frön och små plantor, samt att skugga jorden och härigenom hålla temperaturen lägre. I mörker och vid låga temperaturer minskar antalet örtogräsfrön som gror och plantorna växer långsammare. Växtresterna ger också en miljö som många fröpredatorer trivs i, vilket minskar fröbanken (Teasdale *et al.* 2007).

Ringselle *et al* (2015) undersökte effekten mot kvickrot, d.v.s. en perenn ogräsart, av mellangrödor etablerade som insådd av rajgräs och rödklöver, i blandning eller renbestånd och i kombination med ingen, en eller två avslagningar. Resultatet visade att två avslagningar krävdes för att minska den underjordiska biomassan efterföljande år och att de andra behandlingarna endast minskade kvickrotens ovanjordiska biomassa under hösten. Mellangrödornas biomassa var i slutet av oktober var runt 15 g/m² för rödklöver i renbestånd och ca 30 g/m² för rajgräset och blandningarna. För att få en konkurrenseffekt på kvickrot krävs en biomassa runt 100 g/m² och uppåt. (Cussans, 1972; Bergkvist *et al.*, 2010 se Ringselle *et al.* 2015).

Allelopati

Sekundära metaboliter är produkter som växter utsöndrar som inte kan kopplas direkt till tillväxt. Växter har utvecklat denna funktion genom evolutionens gång för att hålla undan skadeinsekter och patogener, men även för att locka till sig pollinatörer och trycka undan närliggande plantor (Croteau *et al.* 2000). Den effekt de har mot andra plantor är det som kallas för allelopati, Redan i över tvåusen år gamla skrifter är det möjligt att läsa om kikärters egenskap att undertrycka ogräs och att valnötsträd är giftiga för andra plantor (Li *et al.* 2010). Dessa egenskaper går också att använda hos mellangrödor. Barnes och Putnam (1983) genomförde en serie fältförsök i Michigan, USA för att utvärdera rågens allelopatiska effekt. I ett av försöken jämfördes direktsådda ärtor i avdödad råg med sådd i bar jord, och där var den totala ogräsbiomassan 94 % mindre i det direktsådda ledet. I studien jämfördes även effekten av rågtäcket med ett täcke av poppelhyvelspån, som hade ungefär samma fysiska egenskaper när det gäller täckningsgrad. Rågtäcket hade då 73 % bättre kontrolleffekt mot ogräs, vilket de förklarar med rågens allelopatisk verkan. Enligt en review av Schulz *et al.* (2013) kommer rågens allelopatiska verkan till största del från fytotoxiska benzoxazinoider, som även finns i många andra växtslag. Dessa hämmar tillväxten eller groningen hos vissa andra växtslag och kan till och med döda

plantor av känsliga arter. Halten av benzoxazinoider skiljer sig mellan olika sorter, och ett visst intresse för förädling mot mer allelopatiska varianter finns (Schulz *et al.* 2013).

3.2.2. Växtföljd

Ogräs har olika växtsätt och livsmönster vilket gör att oavsett odlingssystem och växtföljd kommer några typer av ogräs att gynnas, medan andra missgynnas (Fogelfors *et al.* 2015). Enligt Fogelfors *et al.* (2015) gynnas vårgroende ogräs i odlingssystem med mycket vårgroddor och höstgroende ogräs i system med mycket höstgroddor. Både höst- och vårgroende annueller missgynnas i system med vall, då antalet annuella ogräs och fröbankens storlek minskar med vallens ålder, både eftersom de ettåriga ogräsen har svårt att konkurrera i vallen och eftersom vallen skördas innan de hinner producera frön (Fogelfors *et al.* 2015). Enligt en litteratursammanställning av Andersson och Ullvén (2019) har vall dessutom god bekämpningseffekt av flera perenna ogräs, då avslagning och konkurrens utarmar ogräsen. Ett undantag är kvickrot, som klarar avslagning och konkurrens bättre än t.ex. tistel och åkermolke (Andersson & Ullvén 2019).

Sedan 1960-talet har herbicider gjort det möjligt att odla ensidiga växtföljder på ett framgångsrikt vis (Fogelfors *et al.* 2015). Ensidiga växtföljder med stor användning av herbicider har dock lett till herbicidresistens hos bl.a. renkavle, vars förekomst starkt korrelerar med ensidiga höstsädsväxtföljder (Naylor 1972), då ca 80 % av renkavlefröna gror på hösten (Moss & Lutman 2013). I ett försök av Chauvel *et al.* (2001) jämfördes renkavleförekomsten mellan två olika växtföljder, en växtföljd med vårgroddor två år av tre och en växtföljd med höstgroddor tre år i rad. I kombination med växtföljden jämfördes även tre olika bearbetnings-, gödslings- och herbicidstrategier. I alla leden minskade populationen av renkavle, men minskningen var störst och skedde snabbast i de led där vårsäd hade introducerats i växtföljden.

3.3. Tekniska lösningar

3.3.1. Selektiv ogrässkärare

CombCut (Lyckegård) är en svensk uppfinning, som även kallas för tistel- eller ogrässkärare. Den består av en fast och inställbar knivbalk och en haspel, där avslagningen bestäms av kör- och haspelhastighet.

CombCut fungerar enligt tillverkaren i alla sorters stråsäd och i vall, fram till stråskjutningen. Efter stråskjutningen hos gräs, t.ex. spannmål, påbörjats och i

grödor som förgrenar sig t.ex. raps och åkerbönor, kan den användas mot ogräs som växer över grödan.

Användarna är till största del ekologiska växtodlare men viss användning förekommer bland konventionella odlare som har problem med bl.a. herbicidresistens (Lyckegård).

CombCut fungerar genom att den utnyttjar fysikaliska skillnader mellan ogräs och gröda, genom att grödan kammats och åker igenom knivarna utan att skadas medan ogräs med styv stjälk slås av. Alternativt att ogräset sticker upp över grödan och klipps av (Lyckegård).

Lundkvist och Verwijst (2011) beskriver en studie av selektiv ogrässkärningseffekt på åkertistel. Studien innehöll både kruk- och fältförsök. I krukförsöket, där de klippte tisteln två år i rad, utan konkurrens, sjönk tisteln tillväxt med 38-49 % jämfört med det oklippta ledet. I det ledet där den klippta tisteln dessutom fått konkurrera med vårkorn, utöver klippningen, var minskningen i tillväxt 66-79 % och skörden av kornet var 76-94 % högre än utan klippning. Efter två år med upprepad avklippning, var tistelns rotbiomassa ca 60 % i jämförelse med oklippt led.

I ett senare fältförsök (Verwijst *et al.* 2017), jämfördes effekten av behandling med MCPA med selektiv ogräsklippning av tistel i vårkorn. Tisteln klipptes med sax på 6 cm höjd över markytan för att efterlikna en körning med CombCut. Vid klippningstillfället var tisteln i 10-bladsstadiet. Avklippningens effekt på tistelns fröproduktion var lika god som i de MCPA-behandlade leden. Effekten på tistelns skottproduktion var sämre i det klippta ledet. Verwijst *et al.* (2017) förklarar skillnaden med att tisteln slås av i senare stadiet än när den behandlas med MCPA. Det senare avbrottet i tillväxten med selektiv ogrässkärning, leder till att tisteln hinner lagra mer energi i rotsystemet och återhämta sig bättre, vilket gör att minskningen av antalet skott sker långsammare och på längre sikt.

3.3.2. Mekanisk frökross

Enligt Walsh *et al.* (2017) har lantbrukare i Australien under flera decennier använt sig av olika metoder för att samla upp ogräsfrön, s.k. harvest weed seed control (HWSC). Två av dessa metoder har varit att bossfraktionen samlats ihop i en vagn eller pressats i samband med tröskningen. Dessa metoder har dock inte använts i så stor omfattning då de sänker tröskkapaciteten, innebär ökade maskinkostnader och ökade risker för maskinhaveri (Walsh & Newman 2007). En vanligare metod, narrow windrow burning, går ut på att bossfraktionen strängläggs och sedan eldas på plats (Walsh *et al.* 2017). Metoden är enligt Walsh *et al.* (2017) den vanligaste i dag och antas förbli den vanligaste. Men 29 % av lantbrukare hade enligt Walsh *et*

al. (2017) föredragit en mekanisk frökross, Harrington Seed Destructor (HSD) framför de andra HWSC-metoderna. Bakom frökrossen som mekaniskt dödar spillsäd och ogräsfrön står ett australienskt företag (*iHSD*). Frökrossen sitter monterad på tröskan och maler sönder ogräsfröna i bossfraktionen i samma överfart som tröskmomentet (Keating 2018).

Frökrossen finns och används kommersiellt i Australien, om än i mindre skala än andra HWSC-metoder (Walsh *et al.* 2017). Australien är det enda landet där den säljs kommersiellt i dagsläget enligt tillverkaren (*iHSD*). I Australien har herbicidresistens hos rajgräs och vildrättika, varit ett problem under lång tid. Dessa är två ogräsarter som har stor betydelse p.g.a. deras stora konkurrenskraft (Walsh & Newman 2007).

HSD, består av en kvarn som maler sönder ogräsfrön i bossfraktionen så att de inte kan gro, eller skadar dem så att mikrober kan degradera dem. I ett stationärt försök som pågick under två år, gjordes försök med sojaboss och ett antal olika ogräsfrön. Maskinen avdödade 85,6-100 % av fröna, beroende på år och ogräsart (Shergill *et al.* 2020). I ett annat försök med vete, korn och lupin utfört under fältmässiga tröskförhållanden, var destruktioneffekten över 95 % (Walsh *et al.* 2012).

3.3.3. Värme

Enligt en litteraturgenomgång av Upadhyaya och Blackshaw (2007) finns det olika typer av värmebehandlingar för att hantera ogräs. Värmebehandlingarna kan ske genom en öppen flamma, applicering av varmt vatten eller vattenånga, eller induceras genom infraröd strålning eller strålning inom UV-spannet.

Ogräskontroll med värmebehandling används mest vid ekologisk grönsaksodling, t.ex. morötter eller vid odling av ekologiska sockerbeter. Detta för att reducera antalet timmar med handrensning av ogräs. Det fungerar också bättre än jordbearbetning just före uppkomst av grödan, eftersom det inte rör upp nya ogräsfrön från djupet (Upadhyaya & Blackshaw 2007).

Målet med värmebehandling är att upphetta blad- och stråmassan till 55-95°C för att skada cellerna. Vid lägre temperatur krävs längre exponeringstid. Värmen gör att proteiner denaturerar och att celler går sönder p.g.a. expansion. Syftet är att döda den ovanjordiska biomassan eller förstöra ogräsfrön i fröbanken om jorden upphettas (Upadhyaya & Blackshaw 2007).

Enligt Collins (1999) har behandling störst effekt på små ogräs och bättre effekt på örtogräs än gräsogräs, då örtogräsens tillväxtpunkt är mer exponerad. Upadhyaya

och Blackshaw (2007) skriver att det ofta krävs upprepade behandlingar om ogräsen är stora, eftersom rotmassan överlever. Detta är tidskrävande och de nuvarande metoderna för upphettning är mycket energikrävande (Upadhyaya & Blackshaw 2007). Enligt ett försök (Hansson & Svensson 2007, se Upadhyaya & Blackshaw 2007) utvärderades ångningens effekt på fröbanken i marken, genom att jorden ångades i band inför sockerbetssådd. För att uppnå 90 % effekt på ogräsfröna krävdes 8000 l vatten/ha samt 570 l diesel/ha, och det tog 8 timmar/ha. Utöver effekt på fröbanken har ångning, enligt Melander *et al.* (2004) även en tydlig negativ effekt på nitrifikationsbakterier. Vid en mätning 90 dagar efter behandling hade bakteriepopulationen inte återhämtat sig.

3.3.4. Elavdödning

Enligt en litteratursammanställning av Upadhyaya och Blackshaw (2007) togs de första patenten på elektrisk teknik för ogräskontroll under sent 1800-tal. Tekniken fungerar genom att en traktordriven generator genererar ström till en elektrod som sedan vidrör växtdelar och då leds strömmen ner genom växtens rotsystem till jorden. I växten utvecklas då värme som förstör växtcellerna och växten dör. Metoden är relativt energisnål om det finns få och lättåtkomliga ogräs, åtminstone i jämförelse med andra metoder som använder sig av värme för att avdöda ogräs. Energiförbehovet ökar dock mycket med mängden ogräs (Upadhyaya & Blackshaw 2007). Vid ogräsmängder mellan 5 och 200 skott/m², varierade energiåtgången mellan 418 och 16 500 MJ/ha. Den stora energiåtgången medför höga kostnader, framförallt vid stort antal ogräs och gör att metoden lämpar sig bäst i odling av värdefulla grödor (Upadhyaya & Blackshaw 2007).

4. Diskussion

4.1. Lösningar på identifierade situationer

De identifierade direkta och indirekta kontrollmetoderna är olika användbara när det kommer till att ersätta glyfosat i olika situationer. I kapitel 3 identifierades tre situationer där glyfosat idag är av stor betydelse och där nya metoder att kontrollera ogräs skulle behövas för att undvika att ett glyfosatförbud leder till mer jordbearbetning och ökad användning av andra herbicider. Dessa situationer var:

- Vallbrott
- Ogräskontroll för perenna ogräs och spillsäd i system med reducerad jordbearbetning
- Risk för att herbicidresistens uppstår vid överanvändning av selektiva herbicider

Vallbrott utan glyfosat, brukar vanligtvis ske genom upprepad stubbearbetning som följs av plöjning (Johansson *et al.* 2019), mycket tung och dyr jordbearbetning. I de metoder jag identifierat under resultatdelen är elavdödning den enda metoden som direkt skulle kunna ersätta glyfosat, men det lär inte vara ekonomiskt försvarbart med tanke på energiåtgången för att behandla stor mängd biomassa. Vid ogräsmängd om 200 ogräs/m² går åt 16 500 MJ/ha för elavdödning (Upadhyaya & Blackshaw 2007). Diesel innehåller 35,6 MJ/l (Zhao 2014), vilket enligt egen beräkning, gör att en behandling skulle använda sig av ca 460 liter diesel/ha. Det innebär att bearbetning troligtvis är mer lämpligt vid vallbrott än elavdödning och att jordbearbetningens negativa konsekvenser vägs upp av vallens positiva effekter. En utebliven sistaskörds förlorade värde bör vägas upp av lägre kostnader av mekaniskt vallbrott än av elavdödning. Relativt mindre bearbetning går att uppnå genom att förlänga vallens ålder, och bryta den ett år senare än brukligt.

4.1.1. Perenna ogräs

Enligt Fogelfors *et al.* (2015) gynnas perenna ogräs i system med liten användning av jordbearbetning, medan de flesta perenna ogräs missgynnas av flerårig vall. Kvikrot är dock ett undantag och kan vara ett problemogräs trots vallodling (Andersson & Ullvén 2019). Enligt SCB (2018) sker en stor del av glyfosatanvändningen i dessa situationer

Johansson *et al.* (2019) beskriver hur en varierad växtföljd ökar möjligheten till ett bredare spektrum av selektiva herbicider i vissa grödor, även för perenna ogräs. Dock finns det en resistensrisk mot de selektiva herbiciderna. De är också förhållandevis dyra och det rekommenderas ofta en uppföljande behandling med glyfosat. Ett alternativ till de selektiva herbiciderna, om det finns resistens eller endast behov av bekämpning mot det perenna ogräset, skulle för vissa ogräsarter kunna vara selektiv ogrässkärning med CombCut (Lyckegård). I försök på tistel har behandling minskat den direkta konkurrensen med huvudgrödan, men på längre sikt även minskat fröproduktion, återväxt och biomassa, såväl underjordisk som ovanjordisk (Lundkvist & Verwijst 2011).

Mellangrödor har i regel bättre effekt på annuella ogräs än på perenna (Teasdale *et al.* 2007). För att klara av att konkurrera ut kvikrot behövs stora mängder biomassa (Cussans, 1972; Bergkvist *et al.*, 2010, se Ringselle *et al.* 2015). Gunnarsson (2014) etablerade mellangrödor i början av juli i södra Sverige. Den ovanjordiska biomassan i slutet av oktober var då 30-40 g/m², beroende på artblandningar och gödsling. Detta visar på svårigheterna att få en tillräcklig stor biomassa av en mellangröda för att konkurrera med t.ex. kvikrot och att kunna ersätta glyfosat. Gunnarsson använde sig av mellangrödor som fryser bort, vilket inte kräver kemisk avdödning eller mekanisk bearbetning. Ett annat alternativ är att de dödas av en vält som knäcker stjälken t.ex. på råg, som sedan vissnar ner och dör (roller crimping). Halwani *et al* (2019) utvärderade denna metod vid odling av sojabönor i nordöstra Tyskland. Ogräseffekten var bättre i det vältade ledet än i det plöjda. För effekt av behandling krävs det dock att rågen blommat, vilket medförde fördröjd sådd och lägre skörd än i det plöjda ledet.

Gällande ogräseffekt av mekanisk jordbearbetning finns det mycket forskning, t.ex. stubbearbetning på hösten i kombination med vårplöjning och dess effekt på kvikrot. Jag har dock inte hittat någon liknande forskning på kombinationseffekt av stubbearbetning med insådd på hösten och resultat av den bearbetningen tillsammans med konkurrensen av mellangrödan.

Ett annat alternativ är att använda elavdödning, en metod som är mycket energikrävande vid hög ogräsdensitet, men som har systematisk effekt på ogräsen (Upadhyaya & Blackshaw 2007). Det skulle kunna vara aktuellt vid låg eller

fläckvis förekomst av t.ex. kvickrot, antingen om ogräset växer över grödan, eller efter skörd. Metoden har bäst effekt i torra förhållanden, så möjligt att resultatet försämras en blöt höst.

4.1.2. Fröogräs, resistens och spillsäd

Herbicidresistens hos ogräs är ett stort problem globalt och börjar att bli det även i Sverige. Glyfosat som har en unik verkningsmekanism jämfört med andra herbicider har därför en viktig roll som resistensbrytare, bl.a. för problemogräset renkavle. Risken för att glyfosatresistens ska utvecklas i Sverige bedöms av Johansson *et al.* (2019) att vara liten, men det finns fall i Europa. I England har det hittats renkavlepopulationer med nedsatt känslighet mot glyfosat, och i Italien finns det exempel med resistens hos olika rajgräspopulationer. Resistensutvecklingen har börjat med resistens mot selektiva herbicider, som sedan lett till en överanvändning av glyfosat med glyfosatresistens som följd (Johansson *et al.* 2019).

Grundproblemet med många fröogräs och herbicidresistens ligger i ensidiga växtföljder med ettåriga grödor, där samma ogräs gynnas år efter år av ensidiga växtföljder och bearbetningssystem. Ett exempel är att innan flerårig vallodling blev vanligt och det nästan uteslutandes odlades vårsäd, var problemen mycket stora med flyghavre. Med vallodlingen minskades problemet för att sedan återkomma när kreaturslösa gårdar blev vanligare (Fogelfors *et al.* 2015). Idag är problemet framförallt i områden där det odlas ensidigt med höstgrödor utan inslag av vall, då ogräs som renkavle gynnas (Naylor 1972). Större odling av vårgrödor och vall skulle minska problemet med renkavle markant, genom att inte låta dess levnadssätt gynnas år efter år. Vårgrödorna kan även kompletteras med mellangrödor, vars funktion framförallt är att konkurrera direkt med ogräs på hösten och indirekt på våren. På våren hindrar växtrester att ljus når ner och stimulerar groning av ogräsfrön och värmer upp jorden. Växtresterna skuggar jorden och gör att temperaturen hålls nere i fältet, vilket missgynnar framförallt örtogräs. Utöver det ger mellangrödor ett habitat åt fröpredatorer, som lever på ogräsfrön i markytan (Teasdale *et al.* 2007). En del av ogräseffekten tillskrivs även vissa arters allelopatiska verkan, att växterna utsöndrar, antingen när de lever eller bryts ner, vissa ämnen som hindrar groning av andra arter t.ex. (Schulz *et al.* 2013).

Anledningen till varför många lantbrukare har en växtföljd dominerad av höstgrödor är att det ofta är bättre ekonomiskt (Johansson *et al.* 2019). Därför finns det incitament till att fortsätta odla en stor andel höstgrödor. I resultatdelen har jag identifierat två tekniska lösningar som skulle kunna minska resistensproblematiken, selektiv ogrässkärare och frökross.

Ogrässkäraren kan klippa av fröställningar hos ogräs, så länge huvudgrödan inte blivit alltför stråstyv, i så fall gäller det att ogräset sticker upp över huvudgrödan och kan klippas av där. Det skulle kunna minska fröproduktionen hos de ogräs som inte påverkats av herbicider. De flesta gårdar har i dagsläget ingen ogrässkärare, och det skulle innebära en investering för många. Enligt Johnsson (2017) låg priset runt 150 000-200 000 kr 2017 för en CombCut beroende på om arbetsbredden var 6 eller 8 meter. Då det går att montera ogrässkäraren i frontlyften på en traktor, skulle det vara möjligt att kombinera behandlingen med antingen en ogräsharvning eller radhackning i samma moment.

En tröskmonterad frökross, HSD, tar och maler sönder de ogräsfrön och den spillsäd som går in i tröskan och som kommer ut i bossfraktionen med upp till 100 %-ig effekt. Den är dyr, 85 000 australiensiska dollar plus montering enligt tidningen Grain Central (Anonym 2019), vilket motsvarar ca 550 000 kr (maj 2020), samt rätt så energikrävande. Enligt Guzzomi *et al* (2017) nyttjar den drygt 50 kW och det stora energibehovet gör den mest lämpad för större tröskor. Enligt Håkansson (2003) sker tröskningen med moderna tröskor senare än vad den gjorde med äldre tröskmetoder, vilket leder till att ogräs i större utsträckning redan drösat sina frön före skörd. Sker tröskningen när fröna redan drösat har frökrossen ingen effekt. Frökrossen saluförs inte i Europa i dagsläget.

5. Slutsats

Svenskt jordbruk har idag behov av glyfosat, framför allt vid bekämpning av perenna ogräs i system med reducerad jordbearbetning, vid vallbrott och i egenskap av resistensbrytare. Med en oviss framtid för glyfosat inom EU och vid ett eventuellt förbud 2022, så är det av flera anledningar inte önskvärt att ersätta det med ökad jordbearbetning.

De icke-kemiska metoder som har störst möjlighet att implementeras och delvis kunna ersätta glyfosat vid en förbudssituation är följande: mellangrödor som hjälper mot ogräs och spillsäd, en förbättrad växtföljd med mer vallodling och större variation mellan vår- och höstgrödor som hjälper mot de flesta annuella och perenna ogräs, selektiv ogrässkärning mot många perenna ogräs och mot fröspridning av annuella ogräs, frökross som förstör ogräsfrön och spillsäd och därmed hindrar dem från att gro och elavdödning som har systemisk verkan på perenna ogräs. Med en kombination av dessa metoder bör risken för herbicidresistens kunna minska, samt i system med reducerad bearbetning och direktsådd så bör perenna ogräs och spillsäd kunna hållas tillbaka. Ingen av dessa metoder lämpar sig dock för att ersätta glyfosat vid vallbrott. Antingen är de inte effektiva nog eller så är det inte ekonomiskt försvarbart.

Fortsatt forskning behövs för att studera följande metoder; mellangrödor, selektiv ogrässkärning, frökross och elavdödning. Deras lämplighet och effekt, enskilt och i kombination med varandra, i svenska förhållanden med vår vegetationsperiod och ogräsflora. Det behövs även forskning på vallblandningar, som lättare skulle gå att döda med ytlig bearbetning.

Referenser

- Andersson, L. & Ullvén, K. (2019). *Rotogräsens När Var Hur En guide till icke-kemisk bekämpning av perenna ogräs*. Tillgänglig:
https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/epok/dokument/ograsskrift_web.pdf [2020-06-03]
- Barnes, J.P. & Putnam, A.R. (1983). Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology*, vol. 9 (8), ss. 1045–1057.
- Bond, W., Turner, R. & Grundy, A. (2003). *A review of non-chemical weed management*. s. 81. Tillgänglig:
https://www.agricology.co.uk/sites/default/files/updated_review.pdf [2020-04-15]
- Guzzomi, A. L., Ryan, R., Saunders, C. & Walsh, M. J. (2017). Reducing the Integrated Harrington Seed Destructor Power Requirements through Chaff Fraction Optimization. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. St. Joseph, Michigan, USA.
- Ascard, J. (1995). *Thermal weed control by flaming: Biological and technical aspects*. Alnarp: Institutionen för lantbruksteknik. Tillgänglig:
https://pub.epsilon.slu.se/3853/1/ascard_j_091026.pdf [2020-04-15]
- Chauvel, B., Guillemin, J.P., Colbach, N. & Gasquez, J. (2001). Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection*, vol. 20 (2), ss. 127–137.
- Collins, M. (1999). Thermal Weed Control, a Technology with a future? s4, *Twelfth Australian Weed Conference*, Hobart, Tasmania 12-16 September 1999. Tillgänglig:
<https://pdfs.semanticscholar.org/015f/9e75126990d4f272426be183d2bc05d61a3c.pdf> [2020-05-28]

Croteau, R., Kutchan, T.M. & Lewis, N.G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, vol. 24, ss. 1250–1319.

EFSA (2010) *EUROBAROMETER 73.5 RESULTAT FÖR SVERIGE Livsmedelsrelaterade risker*. Parma, Italien (European Food safety Authority). Tillgänglig: https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_354_fact_se_sv.pdf [2020-05-29]

Europeiska kommissionen (2017). *Summary report of the Appeal Committee Phytopharmaceuticals - Plant Protection Products – Legislation* Tillgänglig: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/sc_phyto_20171127_pppl_summary.pdf [2020-05-29]

Fogelfors, H. (red.) (2015). *Vår mat Odling av åker- och trädgårdsgrödor*. Lund: Studentlitteratur.

Frithiofsson, K. (2017). *Växtnäringsförsörjning inom ekologisk odling, kan vi odla kvävet själva?* s. 27. Självständigt arbete, 10hp. Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap. Alnarp: SLU. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/10637/7/frithiofsson_k_170822.pdf

Hartwig, N.L. & Ammon, H.U. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed Science*, vol. 50 (6), ss. 688–699.

Heap, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Wednesday, May 27, 2020 . Available www.weedscience.org

Håkansson, S. (2003). *Weeds and weed management on arable land an ecological approach*. Wallingford: CABI Publishing

iHSD - Integrated Harrington Seed Destructor. Tillgänglig: <http://www.ihsd.com/> [2020-05-23]

Johansson, C., Johnson, F., Widén, P., Andersson, R., Manduric, S., Olofsson, S., Hallgren, S., Söderberg, T., Håkansson, B. & Elmquist, H. (2019). *Vilka effekter kan ett glyfosatförbud medföra?* (Jordbruksverkets rapportserie: 2019:8). Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra198.html> [2020-04-27]

Keating, A. (2018). *How crushing weed seeds can help crush resistance* (2018-09-07). (Updated 2018-10-04) *Farm Progress*. Tillgänglig: <https://www.farmprogress.com/weeds/how-crushing-weed-seeds-can-help-crush-resistance> [2020-04-16] 2020-06-04

Kraehmer, H., Schulz, A. & Laber, B. (2007). Where are the new herbicides modes of action. *Farm Technology*, FarmTech Conference 2007, Edmonton Kanada, Proceedings ss. 88-97. Tillgänglig: [2020-05-25]

Larsson, M., Boström, G., Gönczi, M. & Kreuger, J. (2014). *Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten 1986-2014, sammanställning av resultat och trender i Sverige under tre decennier, samt internationella utblickar*. (SLU. CKB rapport 2014:1). Uppsala: SLU. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/11936/11/larsson_m_etal_150316.pdf [2020-05-04]

Lawley, Y.E., Teasdale, J.R. & Weil, R.R. (2012). The Mechanism for Weed Suppression by a Forage Radish Cover Crop. *Agronomy Journal*, vol. 104 (2), ss. 205–214.

Li, Z.-H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C.-D. & Jiang, D.-A. (2010). Phenolics and Plant Allelopathy. *Molecules*, vol. 15 (12), ss. 8933–8952.

Lundkvist, A. & Verwijst, T. (2011). Weed Biology and Weed Management in Organic Farming. I: Nokkoul, R. (red.) *Research in Organic Farming*. InTech, IntechOpen, DOI:10.5772/3157.

Lyckegård *CombCut för selektiv ogräsbekämpning nere i växande gröda såsom vete, korn, råg, havre och vall Lyckegård*. Tillgänglig: <https://www.lyckegard.com/combcut-1> [2020-04-28]

Nationalencyklopedin (u.å.). Konkurrens. Tillgänglig: [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/konkurrens-\(2\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/konkurrens-(2)) [2020-04-12]

Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, vol. 144 (1), ss. 31–43.

Powles, S.B. & Gaines, T.A. (2016). Exploring the Potential for a Regulatory Change to Encourage Diversity in Herbicide Use. *Weed Science*, vol. 64 (S1), ss. 649–654.

Ringselle, B., Bergkvist, G., Aronsson, H. & Andersson, L. (2015). Under-sown cover crops and post-harvest mowing as measures to control *Elymus repens*. *Weed Research*, 55, 309–319. 10.1111/wre.12144. [2020-05-24]

SCB och Kemikalieinspektionen. (2018). *Växtskyddsmedel i jord- och trädgårdsbruket 2017*. (Sveriges officiella Statistik Statistiska meddelanden MI31SM1802). Tillgänglig: https://www.scb.se/contentassets/5cb7b388b27e487a883a7e079f8cd7b6/mi0502_2016i20_sm_mi31sm1802.pdf [2020-05-23]

Schulz, M., Marocco, A., Tabaglio, V., Macias, F.A. & Molinillo, J.M.G. (2013). Benzoxazinoids in Rye Allelopathy - From Discovery to Application in Sustainable Weed Control and Organic Farming. *Journal of Chemical Ecology*, vol. 39 (2), ss. 154–174.

Shergill, L.S., Bejleri, K., Davis, A. & Mirsky, S.B. (2020). Fate of weed seeds after impact mill processing in midwestern and mid-Atlantic United States. *Weed Science*, vol. 68 (1), ss. 92–97.

Teasdale, J.R., Brandsæter, L.O., Calegari, A. & Skora Neto, F. (2007). Cover crops and weed management I. *Non chemical weed management principles, concepts and technology*. Massachusetts: CABI Publishing, ss. 49–64.

Upadhyaya, M.K. & Blackshaw, R.E. (red.) (2007). *Non-chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*. Wallingford: CABI.

Verwijst, T., Tavaziva, V.J. & Lundkvist, A. (2017). Effects of selective cutting and herbicide use in spring barley on seed production of *Cirsium arvense*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, vol. 67 (6), ss. 562–570.

Walsh, M. & Newman, P. (2007). Burning narrow windrows for weed seed destruction. *Field Crops Research*, vol. 104 (1), ss. 24–30. ('Ground-breaking Stuff' - Proceedings of the 13th Australian Society of Agronomy Conference, 10-14 September 2006, Perth, Western Australia)

Walsh, M.J., Harrington, R.B. & Powles, S.B. (2012). Harrington Seed Destructor: A New Nonchemical Weed Control Tool for Global Grain Crops. *Crop Science*, vol. 52 (3), ss. 1343–1347.

Zhao, H. (2014). Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: Gasoline and Gas Engines. Elsevier.

Tack

Jag vill tacka min handledare, Göran Bergkvist, för bra handledning, hjälp, intressanta diskussioner och ett stort tålamod.